

## マイクロプロセッサによる超音波探傷の自動化

## —探触子スキャナの自動化—

Study on Automatic Ultrasonic Testing System Using Microprocessor

— Automatic Scanner for Probe —

原島 文雄\*・稲葉 博\*・酒井 豊彦\*\*・古館 正人\*\*

Fumio HARASHIMA, Hiroshi INABA, Toyohiko SAKAI and Masato FURUDATE

## 1. はじめに

非破壊検査法は、機械部品などの製作に当たり、材料や製品の外部から見えない傷、欠陥を材料や製品を破壊することなしに発見できる有効な手法である。この非破壊検査には、X線、 $\gamma$ 線、磁気、超音波等が用いられている。超音波探傷は、超音波パルスを品物に放射し、その反響の様子から、内部の傷、ひび割れ、異質物の混入している位置、大きさを探知する検査手法である。しかし、現在超音波探傷は、特殊な場合を除いて大部分は技術者による手作業で行われており、熟練を要す他に、個人差等、信頼性が十分とは言えない。また、探傷用センサも物理的な形状から、広範囲の探傷を1回に行う事は無理であり、少し大きな対象物に対しては、その作業が非人間的になる上、人件費の問題もでてくる。

以上の理由から、探傷の自動化の研究が数多く試みられている。この探傷の自動化の内容は大別して、データ採取のためのセンサ用スキャナと、採取したデータから欠陥の形状、大きさを推定するデータ処理手法に分けられる。後者については、計算機を駆使したデータ処理手法を用いる等、高度に進んでいるが、センサ用スキャナは、対象物形状を限定した専用機が大部分である。これは、少品種の品物を大量かつ高速で探傷する場合には有効な手段であるが、多品種かつ少量の品物の探傷には不適當である。

われわれは、この多品種の対象物形状に対応できる、探傷用スキャナの開発を行っている。本報告では、マイクロプロセッサを制御部に使用した多軸スキャナを制作し、探傷装置と組み合わせて水浸法によるスキャナの動作実験を行った結果について検討する。

## 2. 装置の概要

今回製作したスキャナは、円筒状曲面に対応できるように、直交2軸(X, Y軸)と回転軸(R軸)を持つ3軸

構成である(図1参照)。各軸の駆動はパルスモータを使用し、その機械的特性は表1に示す。制御系の構成図を図2に示すが、各軸および、探傷装置の制御は、intelのシングルボードコンピュータ SBC 80/05 (8 bit cpu)を使用しており、ユーザープログラム用として、16 K Byteのメモリ、データ出力装置として TTY を設置してある。各軸のインターフェイス部は、軸位置の読み出し用カウンタと、あらかじめ cpu が指示した位置でインタラプト信号が出せる一致回路が内蔵されている。またすべての軸は64段階のスピード制御が可能となっている。

探傷装置は、三菱電機のデジタル超音波探傷機を使用しており、その仕様を表2に示す。この装置は、マイクロプロセッサで制御が容易に行える様に、Sゲート、Fゲート、音速等すべてのパラメータがデジタル入力となっており、エコーデータの出力も8 bit のデジタル出力を備えている。今回は、これらのパラメータの中

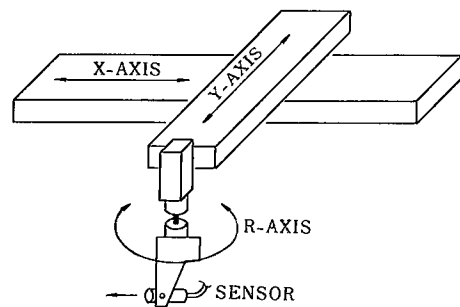


図1 スキャナ外形図

表1 スキャナ部仕様

全軸パルスモータ駆動			
	X 軸	Y 軸	R 軸
移動範囲	648 mm	200 mm	360 deg
最大移動速度	72 mm/s	60 mm/s	40 deg/s
最大入力パルス速度	3600 p/s	4800 p/s	276 p/s
1パルス当たりの移動量	0.02 mm/p	0.0125 mm/p	0.145 deg/p

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

\*\* (株) 電元社製作所

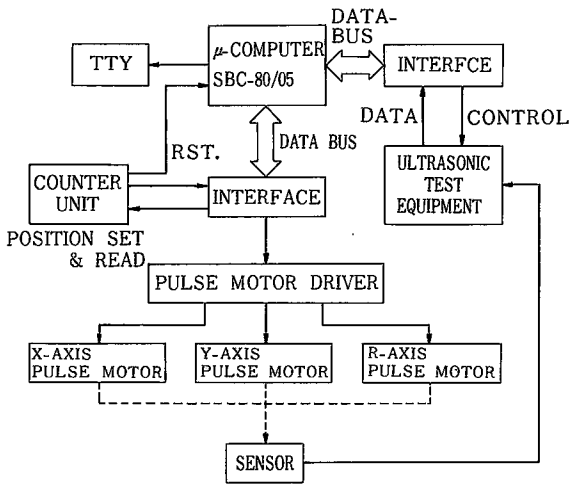


図2 システム構成図

表2 探傷機仕様

探傷チャンネル数	1チャンネル
探傷周波数	1~5 MHz
探傷繰り返し周波数	500~2000 Hz
入力アッテネータ	0~15 dB 1 dB ステップ
Fゲート設定幅	2.0~127.5 mm
Sゲートスタート位置	1~99 mm
音速設定	4100~7000 m/s

で、Sゲート、Fゲート、アッテネータをインターフェイスを介してコントロールしている。

### 3. センサの姿勢制御用フィードバック信号

水浸法では、センサを対象物表面に垂直かつ一定距離範囲内におき、探傷条件を安定にする必要がある。この条件を満足させるために、一般の PTP (Point to Point) 制御の様に探傷位置をすべてティーチングするのでは、対象物が変わった場合や、位置ずれが生じた場合にすべてティーチングをやり直さねばならない。これに対し、センサと対象物表面の位置関係を常に把握できれば、センサを、探傷可能な位置へ導く事ができ、先に述べた位置ずれや、対象物変化に影響されなくなる。この位置把握に専用のセンサを使用する場合、センサに要求される条件として、水浸法では、

- 1) 水中で使用できる事。
- 2) 対象物表面の色、仕上げ法等、処理方法に影響を受けにくい事。
- 3) 取り付け方向が自由な事。
- 4) その他、探傷用センサと干渉を起こさない事。

等がある。このような条件を満たすセンサは、特殊であり入手が困難である。ここで探傷用センサの特性について考えてみると、探傷用センサから得られる情報は、図

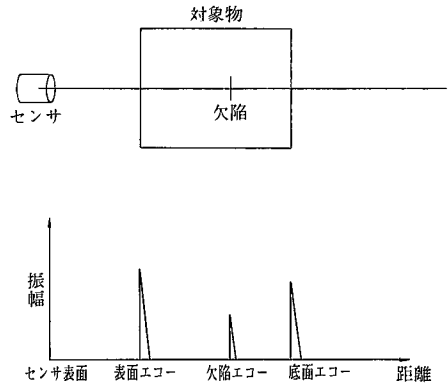


図3 センサから得られるエコー

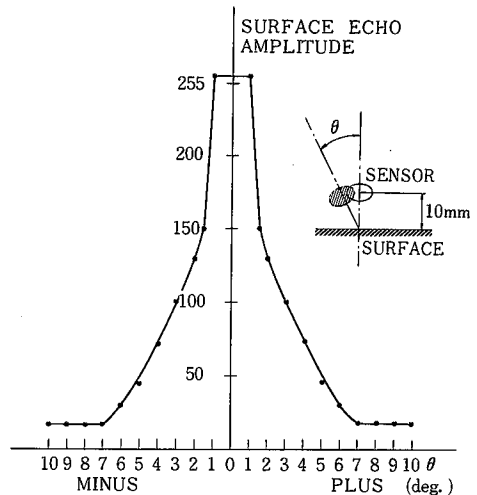


図4 表面エコー VS センサ角度

3のように、対象物表面に相当する表面エコー、内部の欠陥に相当するFエコー、対象物底面に相当する底面エコーがある。しかも、各エコーまでの距離は媒質および対象物内の音速が正確にわかれば、探傷機の特長上±0.5 mmの精度で求める事ができる。また、センサと対象物表面との角度は、図4からわかるように、垂直から±1 deg以内では表面エコー出力(8 bit)は変化しないが、これを越えた所から急激に減少する。そして±7 deg以上ずれると表面エコーは得られなくなる。この事から探傷用センサ自身で、センサの位置把握が可能という事がわかる。われわれは、探傷用センサの位置把握を、探傷用センサ自身から得られる、表面エコーをフィードバック信号として用いて行うことにした。

### 4. 制御プログラム

スキャナの基本的な動作は、円柱状側面をもつ対象物の側面を一周にわたり、探傷を行いながら移動するもので、移動中のセンサの姿勢制御と探傷機の制御はすべて

研究速報  
 マイクロプロセッサが行うものである。また対象物の形状に関する情報を前もってプログラム中に組み込む事はせず、センサの表面エコーのみに基づいて動作する。

図5に制御プログラムのフローチャートを示す。以下これについて説明する。プログラムはすべてアセンブラで作られており、図5の各ブロックはサブルーチン化されている。各サブルーチンの機能は次の通りである。

**MANUAL MODE** TTY から指令を与えスキヤナを表面エコーが得られる場所まで誘導する。この後スタート指令を与えると、自動探傷がスタートする。

**INITIAL SET** X, Y, R の位置カウンタを記憶。探傷機の初期設定を行う。X軸をマスター軸、Y軸をスレーブ軸とする。

**MASTER AXIS MOVE** マスター軸を決められた量だけ移動させる。

**REMAX** R軸を回転させ、表面エコーが最大となる場所を探す。

**DISTANCE ADJUST** 表面エコーとセンサの距離を計算し、許容値 (3 mm) 以上のずれがあれば、スレーブ軸で補正する。

**FLAW SEARCH** 表面エコーより内側をFゲートを決められた深さまで (40 mm) スキャンし、欠陥エコーがあれば、X, Y, R 軸の座標、センサと対象物表面の距離、欠陥エコーまでの深さとエコー高さを TTY へ出力する。また、エコーデータにノイズ等が混入し、通常のデータと著しく異なる場合はデータ出力の先頭に "\*" を印字し、異常を伝える。

全体の動作としては、MANUAL MODE でスキヤナをセットした後に自動探傷がスタートするが、R軸が90 deg 回転するごとに、マスター、スレーブ軸を各々入れ換えて、4 回目の入れ換えて探傷終了となる。

5. 実験方法

実験は水浸法にて行い、使用した探傷用センサの仕様は表3に示す。マスター軸およびスレーブ軸の速度は10 mm/s, R軸は5 deg/s とした。探傷用の試料としては図6に示す様な真鍮製の円柱を用い、この側面を一周にわたって探傷させた。試料には側面に沿って幅4.2 mm の人工傷が作ってある。欠陥の検出感度は、標準試験片V3で得られる欠陥エコー振幅と、材質の違いによって生ずる音圧往復通過率の差を考慮して下の式から決めた。

$A_{Fe}$ : 標準試験片から得られる欠陥エコー振幅  
 (センサ、試験片表面間距離 30 mm)

$T_{Fe}$ : 標準試験片の音圧往復通過率

$T_s$ : 真鍮の音圧往復通過率

$A = A_{Fe} \times (T_s / T_{Fe})$

また、探傷用センサと試料表面との距離の指定は、表面の多重エコーの妨害を受けない距離を実測し、30 mm とした。

6. 実験結果および検討

1) 所要時間

前述の手法でスキヤナの動作実験を行った結果、総探傷点数は251点、所要時間は20分であった。これは、1

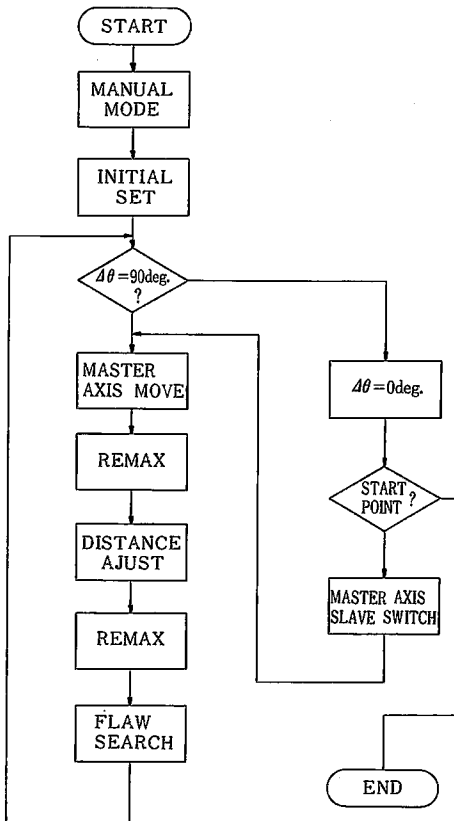


図5 プログラムフローチャート

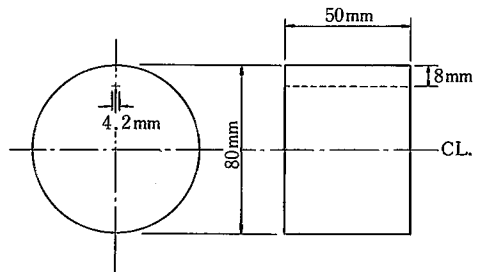


図6 試料外形図

表3 センサ特性

周波数 (MHz)	振動子寸法 (mm)	振動子材料	焦点の大きさ (mm)	焦点距離 (mm)
5.0	20.0φ	セラミック	1.6φ	45.0

点当たりの探傷に平均4.8秒を要している。制御プログラム上では、表面エコーの採取に800ms, R軸回転に200ms, その他、スレーブ軸の移動等に500ms程度要するため、実際の探傷には、2~3回の最大エコー探索を行っている事になる。これは、実際の動作の観察結果とよく一致している。しかし、試料表面の曲率が小さいものや、変化の大きいものに対しては、最大表面エコーの探索の回数が増すため、所要時間はさらに増加すると考えられる。また、マスター軸の移動によって試料表面とセンサの角度が垂直から±7deg以上ずれると表面エコーが無くなり、これを探すために±30deg R軸を回転させて表面エコーを探索するので通常の15倍程度の時間が必要となろう。一点当たりの探傷時間4.8秒は、探傷位置設定と探傷を行う時間としては、さほど遅いとは言えないが、実用化にはまだ不十分と思われる。しかし、このスキャナの動作は、表面エコーを基準としてすべてシーケンシャルになっているため、所要時間の短縮には、各構成機材の高速化を計るしかなく、中でも探傷機自体を高速化することにより、表面エコー探索の時間を短縮することが最も有効と考えられる。

2) 探傷精度

位置フィードバックに用いている探傷用センサは、前にも述べた様に±1degで不感帯を持っているが、この不感帯によって生ずる誤差について検討する。図7に示すように、対象物の表面から深さ $l_2$ の所に欠陥がある場合について考える。センサは、常に対象物表面に垂直と仮定しているため、この状態ではセンサの正面から $l_1'$ + $l_2'$ の距離に欠陥があると判断するが実際には位置は $\Delta X$ , センサからの距離は $\Delta l$ だけずれている。 $\Delta X, \Delta l$ は各々下の式で表される。

$$\Delta X = l_1 \frac{\tan \theta_1}{\cos \theta_1} + l_2 \tan \left[ \sin^{-1} \left( \frac{C_s}{C_L} \sin \theta_1 \right) \right]$$

$$\Delta l = l_2 \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad \theta = \sin^{-1} \left( \frac{C_s}{C_L} \sin \theta_1 \right)$$

$C_L$ : 媒体中の音速

$C_s$ : 対象物中の音速

今回実験に使用した試料について $\Delta X, \Delta l$ を計算してみると、 $\Delta X = 1.1 \text{ mm}$ ,  $\Delta l = 0.02 \text{ mm}$ となる。 $\Delta l$ に関しては、探傷機の深さ方向の最高分解能が0.5mmであることから、無視できる。 $\Delta X$ に対しては、センサの直径が20mm程度あるため、手探傷でも数mmのずれが生ずる事を考えれば、かなり良好な結果と言える。

最後に、本実験で得られたスキャナのセンサ部の移動軌跡を図8に示すが、センサが対象物表面によく追従していることがわかる。

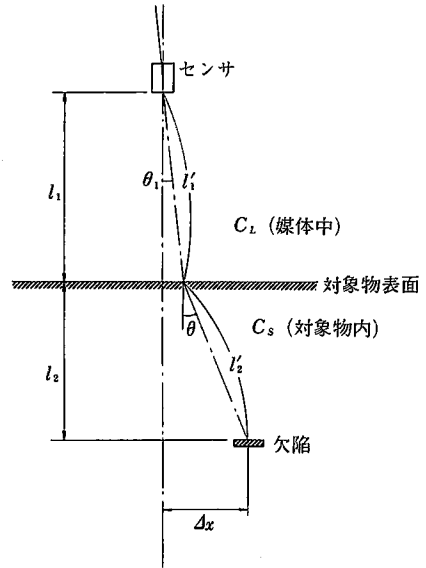


図7 センサの角度による欠陥位置のずれ

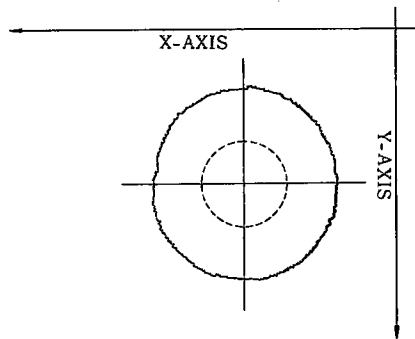


図8 センサ軌跡 (中央点線は対象物)

7. まとめ

探傷用センサをスキャナの位置制御用センサと兼用した自動探傷用スキャナを製作し、探傷実験を行った。

この結果、1点の探傷時間は4.8秒となり、実用化するにはさらに高速化の必要があるが、探傷機の応答速度を上げる事が最も有効であることがわかった。

探傷の測定精度は、欠陥位置の測定において、深さ方向の誤差は探傷機の最高分解能以下であり、無視できるが、対象物表面と平行方向の誤差は、欠陥の深さを $l$ とすれば、 $0.125l \text{ mm}$ となり、今回使用したサンプルに対しては、良好な結果が得られた。

なお本研究は、昭和51年、52年度文部省科学研究費補助金により、遂行されたものである。

(1980年8月11日受理)